# 室内条件下云斑天牛成虫相遇行为反应

杨　桦[1]，杨　伟[1,*]，杨春平[1]，杨茂发[2]，王保新[1]，朱天辉[1]，黄　琼[1]

(1. 四川农业大学林学院，四川省林业生态工程省级重点实验室，四川雅安 625014；2. 贵州大学昆虫研究所，贵阳 550025)

**摘要：** 为了探索云斑天牛 *Batocera lineolata* Chevrolat 雌雄成虫的交配机制，采用室内饲养观察和视频轨迹捕捉系统(EthoVision 3.1)自动记录分析相结合的方法，对云斑天牛的两性相遇行为进行了研究。行为仪分析结果表明，雌雌、雄雄与雌雄相遇过程中，雌雄在轨迹相交时间和净相对运动上显著长于雌雌和雄雄($P<0.05$)，而在反应前时间上显著短于雌雌和雄雄相遇情况($P<0.05$)。室内试验观察表明，云斑天牛成虫相遇包括避让、打斗和交配3种行为。雌雌相遇发生避让的频率最高为80.98%($P<0.05$)。雄雄相遇发生避让的频率为78.03%，显著高于发生打斗的频率21.96%($P<0.05$)；雌、雄成虫与正在交配的一对成虫相遇发生避让的频率显著高于另外3种行为[打斗(继续交配)、打斗(结束交配)、打斗(与后来者交配)]($P<0.05$)，雌、雄成虫发生避让、打斗(继续交配)和打斗(结束交配)3种行为的发生频率存在性别差异($P<0.05$)；当雄雄相遇中成虫是初次相遇时，在发生打斗的频率上显著高于再次相遇($P<0.05$)，成虫在雄雄相遇发生避让的频率上，再次相遇显著高于初次相遇($P<0.05$)，雌雄成虫初次相遇发生交配的频率显著高于再次相遇的频率($P<0.05$)。云斑天牛成虫相遇行为的研究为研究云斑天牛召唤机制、性信息素的生物合成及成虫繁殖行为学提供了依据。

**关键词：** 云斑天牛；行为反应；相遇行为；避让；打斗；交配

**中图分类号：** Q968　**文献标识码：** A　**文章编号：** 0454-6296(2012)01-0070-07

# Behavioral responses of encountering adults of the white-striped longhorn beetle, *Batocera lineolata* (Coleoptera: Cerambycidae), in the laboratory conditions

YANG Hua[1], YANG Wei[1,*], YANG Chun-Ping[1], YANG Mao-Fa[2], WANG Bao-Xin[1], ZHU Tian-Hui[1], HUANG Qiong[1] (1. Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering of Sichuan Province, College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China; 2. Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** In order to search the mating system of male and female adults of the white-striped longhorn beetle, *Batocera lineolata* Chevrolat, we studied the encountering behavior of male and female of *B. lineolata* by laboratory observation in combination with automatic record and analysis through video tracking capture system (EthoVision 3.1). The test results by behavior instrument showed that the intersection time of two tracks and net relative movements between one male and one female were longer than that between one female and one female or between one male and one male during the encountering process ($P<0.05$), while their reaction time was shorter than that for female-female or male-male ($P<0.05$). In the laboratory experiment, it was observed that the encountering process of *B. lineolata* included three behaviors, *i. e.*, avoidance, fight and mating. During female-female encountering process, the maximum avoidance rate was 80.98% ($P<0.05$). In male-male encountering, the avoidance rate was 78.03%, which was much higher than the fight rate of 21.96% ($P<0.05$). Avoidance rate between one male or female and a couple under mating process was much higher than that for another three behaviors, *i. e.*, fight (continue to mate), fight (finish mating) and fight (mate with new comers) ($P<0.05$). There was a sexual difference ($P<0.05$) in occurrence frequency of these three bahaviors, *i. e.*, avoidance, fight (continue to mate) and fight (finish mating) between the male and the female. If it was the first encountering for two males, the fight rate was much higher than that for their

基金项目：四川省教育厅重点实验室专项(2006ZD011)；四川农业大学"211工程"双支计划资助项目(00370101)；四川农业大学长江上游生态林业工程建设资助项目

作者简介：杨桦，男，1982年9月出生，四川峨眉人，博士，从事动物生态研究，E-mail: yanghua151017@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: ywei0218@yahoo.com.cn

收稿日期 Received: 2011-07-12；接受日期 Accepted: 2011-12-22

second encountering ($P < 0.05$), and the avoidance rate for their second encountering was much higher than that for the first time ($P < 0.05$). But the mating rate for the first encountering of a male and a female was much higher than that for their second encountering ($P < 0.05$). The study upon encountering behavior of *B. lineolata* provides the basis for studying calling mechanism and sex pheromone biosynthesis of *B. lineolata* as well as reproductive behavior of the adults.

**Key words**: *Batocera lineolata*; behavioral response; encountering behavior; avoidance behavior; fighting behavior; mating behavior

天牛是一类重要的森林昆虫，全世界超过 35 000 种，有着丰富的繁殖行为策略(Lawrence, 1982)。对繁殖行为的基础研究，有利于解读天牛成虫生殖行为机制，以及开拓天牛种群治理的新途径。但是，目前为止只有 80 种天牛的繁殖行为被研究(Hanks, 1999)，研究也多以室内饲养和野外观察为主(温硕洋, 1991; 尹新明, 1996; Wang and Chen, 2005; 张永慧等, 2006)。天牛交配前一般没有复杂的求爱行为，雌雄个体聚集后容易发生交配(贺萍和黄竞芳, 1993; Hanks, 1999)。在对天牛的繁殖行为学研究中，李德家等(1999)研究发现，在光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* (Motsoh)寻找配偶的过程中，非接触性的嗅觉识别不起主导作用，成虫的交配行为一般是在雌虫对雄虫的视觉刺激作用下启动。杨洪等(2007)认为松墨天牛 *Monochamus alternatus* Hope 一次完整的交配过程包括相遇抱对、插入输精和配后保护 3 个阶段。Hughes(1981)研究表明多数天牛有交配后的保护行为，例如白点墨天牛 *Monochamus scutellatus* (Say)雄虫通过陪护雌虫，从而保证雌虫所产卵为自己的后代。

云斑天牛 *Batocera lineolata* Chevrolat 隶属于鞘翅目(Coleoptera)，天牛科(Cerambycidae)，广泛分布于我国的西南、华南、中南、华北等地，是多种短周期用材林和经济林的重要钻蛀性害虫(高瑞桐等, 1995; 严敖金等, 1997)。由于天牛是一类保护机制较为完善的害虫，为害的隐蔽性造成防治难度大，一般的化学防治很难奏效。目前通过对化学生态学和行为学的研究为探索云斑天牛的防治新途径奠定了基础。梁潇予等(2008)发现法国冬青 *Viburnum awabuki* K. 和光皮桦 *Betula luminifera* H. Winkl 对补充营养阶段的云斑天牛成虫有较强的引诱作用。李娟等(2008)在田间调查中发现云斑天牛成虫多集中在蔷薇科植物上补充营养。杨桦等(2010)研究发现云斑天牛成虫补充营养行为同寄主植物挥发物成分的变化有一定的联系。但未见有关云斑天牛成虫交配行为方面的报道。因此，本试验采用饲养观察与视频捕捉相结合的方法对云斑天牛成虫相遇行为进行了研究，比较了雌雌相遇、雄雄相遇、雌雄相遇的不同情况，不仅可以了解云斑天牛行为规律、为防治打下基础，也丰富了天牛科昆虫的繁殖行为学研究。

## 1　材料与方法

### 1.1　供试虫源

2011 年 4 月中下旬，于四川省德阳市罗江县杨树上采集刚出木未交配的云斑天牛成虫，鉴别雌雄后分别放入 2 个 60 cm × 60 cm × 60 cm 的不锈钢网养虫笼内。在温度 25 ± 2℃、相对湿度 75%~80%、光周期 12L∶12D 的人工智能气候室内，用水培法国冬青枝条饲养备用。已交配雄虫腹部绒毛磨损，形成交配斑；已交配雌虫为背部绒毛磨损，形成交配斑(嵇保中等, 1996)。

### 1.2　云斑天牛两性成虫相遇行为视频自动记录与分析

试验分为雌雌相遇、雄雄相遇、雌雄相遇(选用同期羽化出孔后饲养 8 d，大小一致，无畸形的天牛) 3 种处理。将每种处理的云斑天牛放入 30 cm × 30 cm × 30 cm 的 PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)试验缸内，使用行为试验自动视频轨迹系统，记录云斑天牛的活动轨迹；并使用 EthoVision 3.1 行为分析软件(荷兰 Noldus Information Technology 公司)处理轨迹图中云斑天牛的移动速度变化、轨迹相交时间、反应时间等参数，比较不同处理的云斑天牛两性相遇情况。在 25 ± 2℃ 的室温下，试验重复 8 次，每次记录 20 s。

### 1.3　云斑天牛两性成虫相遇行为的室内饲养观察

用白色记号笔分别在雌虫腹部和雄虫背部标注不同数字，以此标记同期出木的云斑天牛成虫 5 对(羽化出孔后饲养 8 d，雌雄大小一致，无畸形)，置于 60 cm × 60 cm × 60 cm 的不锈钢网养虫笼内，以

水培法国冬青枝条饲养，并放入长 1 m，直径为 15 cm 的新鲜杨树 *Populus* spp. 木段作为产卵诱木。2 d 更换一次法国冬青枝条和产卵诱木。观察记录云斑天牛相遇后所出现的打斗、避让、交配等情况。每天 8:00 – 18:00 进行观察，18:00 后取出笼内雄虫单独饲养。在 25 ± 2℃ 的室温下，连续观察 4 d，试验重复 3 次。

### 1.4 数据分析

试验所得数据用 SPSS 13.0 进行统计分析，采用 EthoVision 3.1 行为分析软件绘制行为轨迹图。雌雄成虫不同交配经历对相遇行为的影响采用独立样本 *t* 检验；行为仪分析所得数据以及云斑天牛相遇各情况比较采用 Duncan 氏多重分析法。

## 2 结果与分析

### 2.1 云斑天牛成虫两性相遇行为轨迹分析

用 EthoVision 3.1 行为仪观察到云斑天牛爬行时两触角夹角呈 40 ~ 60°，向前平伸或略向上翘。头稍向下，下颚须和下唇须与地面接触，且不停的扫动探知。当两虫相遇并接触时，会对对方进行识别，通常识别方式为用触角触碰对方触角或体躯。

**2.1.1** 雌雌相遇行为轨迹：两雌虫保持一定距离，行为轨迹呈现无序状态（图 1）。少数情况触角或足接触后立即改变爬行方向相互避让，如图 1（a）。

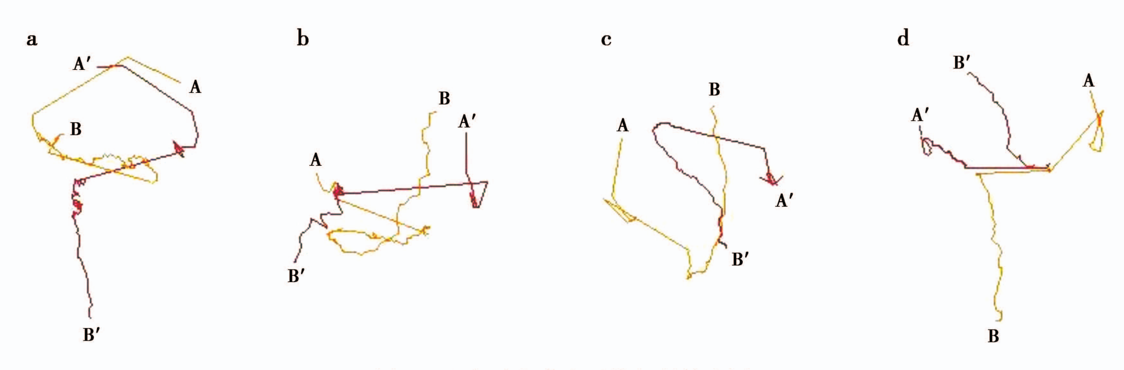



图 1 云斑天牛成虫两雌相遇轨迹图

Fig. 1 Encounter trajectory of two female adults of *Batocera lineolata*

A-B 和 A′-B′分别为两头云斑天牛各自的行为轨迹，A 和 A′为开始端，B 和 B′为结束端；图 2 和 3 同。A-B and A′-B′ are behavioral tracks of two female individuals, respectively, which start from Point A and A′ and end with Point B and B′. The same for Figs. 2 and 3.

**2.1.2** 雄雄相遇行为轨迹：雄雄相遇行为轨迹呈现 3 种情况，第 1 种是平行轨迹，也就是两雄虫相互避让没有接触（图 2：b，c）；第 2 种是两轨迹接近（图 2：d），两雄虫发生对峙下、利用前胸后端与中胸摩擦发音示威；第 3 种是两轨迹短暂的接触后分开（图 2：a），是因为两雄虫冲突加剧发生打斗，最后弱者逃离。

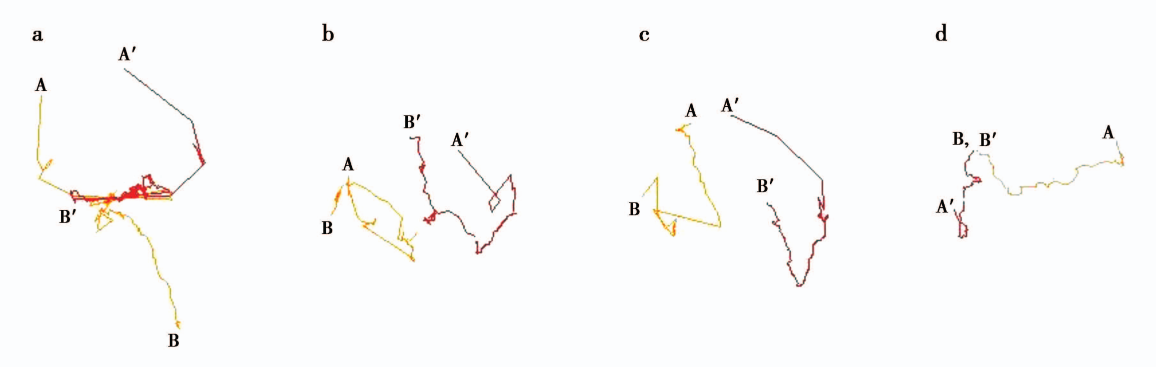



图 2 云斑天牛成虫两雄相遇轨迹图

Fig. 2 Encounter trajectory of two male adults of *Batocera lineolata*

**2.1.3**　雌雄相遇行为轨迹：雌雄相遇行为轨迹图呈现 2 种情况，第 1 种是两行为轨迹相交后分开(图 3：a)，是因为雄虫无交配意向，两者接触改变爬行方向相互避让；第 2 种是两行为轨迹合为一条直线(图 3：b，c，d)，是因为雄虫有交配意向，尾随雌虫并用触角触碰雌虫体躯，爬近雌虫后用下颚须和下唇须不断地舐触雌虫的前胸背板和鞘翅，完成交配。

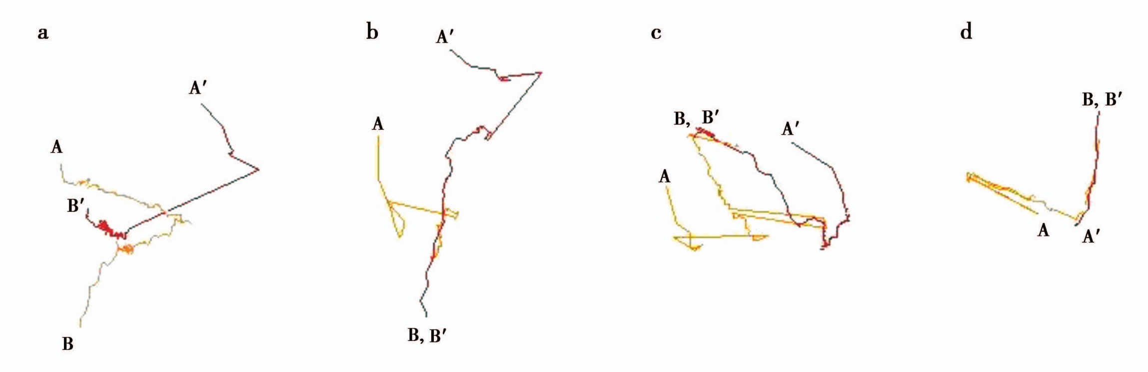



图 3　云斑天牛成虫一雌一雄相遇轨迹图

Fig. 3　Encounter trajectory of one female and one male adult of *Batocera lineolata*

通过对 3 种处理的云斑天牛成虫两性相遇行为轨迹分析发现 (表 1)，雌雄相遇在轨迹相交时间和净相对运动上明显长于雌雌或雄雄相遇情况，达到显著性差异($P<0.05$)。从 3 种处理的反应时间上比较，雌雄相遇明显短于另两种处理($P<0.05$)。3 种处理的云斑天牛成虫移动速度上没有显著性差异($P>0.05$)。

**表 1　云斑天牛成虫两性相遇行为分析**

**Table 1　Analysis upon sexual encountering behavior of *Batocera lineolata* adults**

| 相遇个体 Encountering individuals | 轨迹相交时间(s) Intersection time for two tracks | 移动速度(cm/s) Moving velocity | 净相对运动(cm) Net relative movement | 反应时间(s) Reaction time |
|---|---|---|---|---|
| 雌雌 Two females | 0.13 ±0.05 B | 9.78 ±0.56 A | 0.01 ±0.01 C | 1.68 ±0.03 A |
| 雄雄 Two males | 0.10 ±0.06 B | 7.94 ±0.72 A | 0.08 ±0.01 B | 1.03 ±0.16 B |
| 雌雄 One female and one male | 2.50 ±0.24 A | 9.93 ±1.83 A | 0.28 ±0.14 A | 0.40 ±0.15 C |

表中数据为平均值 ± 标准误，同列数据后具不同大写字母表示差异显著($P<0.05$，Duncan 氏比较)；下表同。The data in the table are represented as mean ± *SE*, and those followed by different letters within a column show significant difference ($P<0.05$, Duncan's test). The same for the following tables.

## 2.2　云斑天牛两性相遇行为分类分析

云斑天牛两成虫相遇包括避让、打斗和交配 3 种行为 (表 2)。在搜寻配偶、完成交配的过程中雄虫占据主导地位。试验中观察到云斑天牛雄雄与雌雌相遇以避让为主，平均雄虫发生避让的频率为 78.03%，平均雌虫发生避让的频率为 80.98%，都显著高于雌、雄虫发生打斗的频率($P<0.05$)。在雌雄相遇过程中打斗的频率极少发生，为 6.93%，显著低于发生其余情况的频率($P<0.05$)；发生交配和避让的频率分别为 45.19% 和 49.33%。

云斑天牛与正在交配的一对成虫相遇行为反应见表 3。雄虫与正在交配的一对成虫相遇，雄虫发生避让频率为 52.82%，显著高于其余 3 种行为($P<0.05$)；其次是正在交配的雄虫表现较强的进攻性能用触角将新到的雄虫赶走，频率为 30.95%，少数情况下新到雄虫将正在交配的雌雄虫冲散，停止交配(12.10%) 或把雄虫赶走后与雌虫交配(4.74%)。雌虫与正在交配的一对成虫相遇，发生避让的频率为 76.83%，显著高于其余 3 种行为($P<0.05$)；极少数情况雄虫丢下正在抱对交配的雌虫与后来者交配(3.74%)。

雌、雄成虫与正在交配的一对成虫相遇，在发

生避让、打斗(停止交配)和打斗(继续交配)3 种情况的频率上存在显著的性别差异($P<0.05$)；而在打斗(与后来者交配)的频率上性别差异不明显($P>0.05$)。

**表 2 云斑天牛成虫室内相遇行为统计分析**

**Table 2 Statistical analysis of encountering behavior of *Batocera lineolata* adults in the laboratory**

| 相遇个体 Encountering individuals | 行为反应 Behavioral reponse | 观察次数 Number of observations | 最大值 Maximum | 最小值 Minimum | 平均值±标准误 Mean±*SE* |
|---|---|---|---|---|---|
| 雄雄 | 避让 Avoidance (%) | 576 | 73 | 15 | 78.03±1.07 AB |
| Two males | 打斗 Fight (%) | 159 | 20 | 4 | 21.96±1.07 CDE |
| 雌雌 | 避让 Avoidance (%) | 82 | 14 | 2 | 80.98±0.83 A |
| Two females | 打斗 Fight (%) | 20 | 4 | 0 | 19.08±0.81 DE |
| 雌雄 | 避让 Avoidance (%) | 256 | 39 | 1 | 49.33±9.61 BC |
| One female and | 打斗 Fight (%) | 39 | 7 | 0 | 6.93±2.05 E |
| one male | 交配 Mating (%) | 187 | 15 | 0 | 45.19±13.04 CD |

**表 3 云斑天牛成虫与正在交配的一对成虫相遇后的行为反应分析**

**Table 3 Analysis of behavioral responses of *Batocera lineolata* adults encountering a couple of mating adults**

| 行为反应 Behavioral response | 雄虫与交配中成虫相遇 A male encountering a couple of mating adults | 雌虫与交配中成虫相遇 A female encountering a couple of mating adults | *T* |
|---|---|---|---|
| 避让 Avoidance (%) | 52.82±0.86 A | 76.83±1.24 A | 18.91* |
| 打斗 (停止交配) (%) Fight (mating ended) | 12.10±0.19 C | 9.68±0.16 B | 3.58* |
| 打斗 (继续交配) (%) Fight (continue to mate) | 30.95±0.01 B | 10.52±0.01 B | 21.50* |
| 打斗 (与后来者交配) (%) Fight (mate with new comers) | 4.74±0.03 D | 3.74±0.02 C | 0.37 |

* $P<0.05$ (*t*-test).

### 2.3 不同相遇经历对云斑天牛各类相遇行为的影响

不同相遇经历对云斑天牛相遇情况中避让、打斗和交配频率的影响如表 4。当两头成虫在雄雄相遇情况中是初次相遇时，在打斗频率上显著高于再次相遇情况($P<0.05$)；雄雄相遇在发生避让的频率上，再次相遇显著高于初次相遇($P<0.05$)；雌雄成虫初次相遇发生交配的频率显著高于再次相遇的频率($P<0.05$)。

## 3 讨论

EthoVision 3.1 是一个自动探测、记录和分析单个或两个动物运动及行为的集成系统，所以本试验设计没有包括雄虫或雌虫与正在交配的一对成虫相遇情况，这一缺陷有待进一步完善。目前，国际上用此系统成功观察动物行为的变化，特别是用于老鼠行为的研究(Lochelm and Buma, 1998; Heeren and Cools, 2000; Campbell, 2002)。利用此系统也成功进行了多种昆虫的行为研究，如 Stewart-Jones 等(2006)对大谷蠹 *Prostephanus truncatus* (Horn)及其天敌行为的研究；刘慧娟(2007)分析了阿维菌素亚致死浓度对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 及其天敌黄瓜钝绥螨 *Amblyseius cucumeris* Oudemans 的行为影响。本试验利用此系统记录了云斑天牛雄雄、雌雌和雌雄 3 种相遇情况的轨迹图，比较了 3 种情况的轨迹相交时间、移动速度、净相对运动与反应时间，直观地反映了 3 种情况的差异。

Linsley (1959)对天牛科昆虫的交配行为研究

表 4　不同相遇经历对云斑天牛成虫各相遇情况的影响

**Table 4　Effects of different encountering experience on encountering behavior of *Batocera lineolata* adults in the laboratory**

| 相遇个体 Encountering individuals | 相遇经历 Encountering experience | 避让(%) Avoidance | 打斗(%) Fight | 交配(%) Mating |
|---|---|---|---|---|
| 雄雄 Two males | 初次相遇 First encountering | 42.79 ± 5.71 | 68.82 ± 3.79 * | – |
| | 再次相遇 Encountering again | 78.93 ± 2.77 * | 21.67 ± 1.89 | – |
| 雌雌 Two females | 初次相遇 First encountering | 91.33 ± 8.67 | 18.12 ± 9.73 | – |
| | 再次相遇 Encountering again | 82.30 ± 9.68 | 8.67 ± 8.67 | – |
| 雌雄 One female and one male | 初次相遇 First encountering | 37.49 ± 16.29 | 6.17 ± 3.08 | 71.47 ± 7.17 * |
| | 再次相遇 Encountering again | 53.79 ± 5.67 | 4.76 ± 4.76 | 31.28 ± 9.58 |

* $P < 0.05$ ($t$-test).

表明，雌虫不活跃，求偶行为先由雄虫开始。Iwabuchi（1986）认为葡萄脊虎天牛 *Xylotrechus pyrrhoderus* Bates 的雌虫首先受到远距离雄性性信息素的吸引，并趋向静息的雄虫，雄虫又受到近距离雌性性信息素的刺激而变得兴奋。云斑天牛成虫的远距离聚集主要是通过补充营养寄主的吸引作用来实现的，而后在寄主树木上的栖息活动中，雌、雄成虫对寄主树木特定区域微生境的共同趋性使得两性接近，从而完成近距离的聚集。在两性相遇中，雄雄相遇情况在避让和打斗次数上都显著高于雌雌和雌雄相遇，这提示云斑天牛雄虫在搜寻配偶、完成交配的过程中占据主导地位，当有交配意向的雄虫接触到雌虫后，便立即快速爬向雌虫。

由于幼虫食物资源质量的不可预知性和短暂性，因此先到达产卵地点的雌虫后代明显比后来者的后代占优势，存活率也比后来者的后代高（杨洪等，2007）。对于雌虫而言，找到优质的产卵木是生殖成功的关键，而对于雄虫，与雌虫成功交配，以及精子与卵子相结合是生殖成败的关键。正在交配的云斑天牛雄虫会主动用触角驱赶其他赶来试图交配的雄虫，有时会发生打斗现象，这提示了云斑天牛雄虫的交配行为表现出激烈的性内竞争。雄性天牛交配行为中明显的配后保护现象也是雄性性内竞争的重要行为（Hanks，1999；Simmons，2001；嵇保中等，2002）。

Collatz 等（2006）对隆脊瘿蜂 *Leptopilina boulardi*（ISy type）、红足测沟茧蜂 *Microplitis croceipes*（Cresson）及米象金小蜂 *Lariophagus distinguenolus* F. 的研究发现，寄生蜂具有与西方蜜蜂 *Apis mellifera* L. 相似的记忆结构，即一次条件作用可诱导寄生蜂的中短时记忆，多次条件作用能诱导长时记忆。在不同相遇经历对云斑天牛各相遇情况的影响中，雄雄再次相遇避让的次数显著高于初次相遇，而打斗的次数初次相遇显著高于再次相遇，这提示了当云斑天牛初次相遇中发生打斗后，这个条件诱导其产生记忆，再次相遇雄虫会偏向于避让。雌雄虫初次相遇发生交配的情况显著高于再次相遇，这说明了雌虫与不同雄虫发生交配主要是为了提高自身的适合度、增加后代遗传多样性和增进生殖成功（Arnqvist and Nilsson，2000），而雄虫主要是为了保留更多的后代。

本研究属于室内限定空间试验，是在特定的空间内观察云斑天牛成虫相遇行为，其在自然条件下的相遇行为有待进一步研究。

## 参考文献（References）


Arnqvist G, Nilsson T, 2000. The evolution of polyandry: multiple mating and female fitness in insects. *Anim. Behav.*, 60: 145 – 164.

Campbell SRC, 2002. Segmentation and behavioral classification of mice using digital video. International Workshop on Methods and Techniques in Behavioral Research, 27 – 30 August, Amsterdam.

Collatz J, Müller C, Steidle JLM, 2006. Protein synthesis-dependent long-term memory induced by one single associative training trial in the parasitic wasp *Lariophagus distinguendus*. *Learning & Memory*, 13: 263 – 266.

Gao RT, Wang HQ, Xu BX, Zheng SK, Wang XQ, Gong YH, 1995.

Study on the habit of absorbing replenishing nutrition of *Batocera horsfieldi* and its relation with the host trees. *Forest Research*, 8(6): 619 - 623. [高瑞桐, 王宏乾, 徐邦新, 郑世锴, 王希群, 龚益鸿, 1995. 云斑天牛补充营养习性及与寄主树关系的研究. 林业科学研究, 8(6): 619 - 623]

Hanks LM, 1999. Influence of the larval host plant on reproductive strategies of cerambycid beetles. *Annu. Rev. Entomol.*, 44: 483 - 505.

He P, Huang JF, 1993. Adult behavior of *Anoplophora glabripennis*. *Acta Entomol. Sin.*, 36(1): 51 - 55. [贺萍, 黄竞芳, 1993. 光肩星天牛成虫的行为. 昆虫学报, 36(1): 51 - 55]

Heeren DJ, Cools R, 2000. Classifying postures of freely moving rodents with the help of Fourier descriptors and neural network. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 32(1): 56 - 62.

Hughes AL, 1981. Differential male mating success in the white spotted sawyer *Monochamus scutellatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 74: 180 - 184.

Iwabuchi K, 1986. Mating behavior of *Xylotrechus pyrrhoderus* Bates (Coleoptera: Cerambycidae): Ⅲ. Pheromone secretion by males. *Appl. Entomol. Zool.*, 21: 606 - 612.

Ji BZ, Qian FJ, Yan AJ, 1996. Improvement of method studying *Batocera horsfieldi* (Hope). *Forest Pest and Disease*, (1): 45 - 46. [嵇保中, 钱范俊, 严敖金, 1996. 云斑天牛研究方法的改进. 森林病虫通讯, (1): 45 - 46]

Ji BZ, Wei Y, Huang ZY, 2002. Present situations and prospects of researches on adult's behavior of longicorn beetles. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 26(2): 79 - 83. [嵇保中, 魏勇, 黄振裕, 2002. 天牛成虫行为研究的现状与展望. 南京林业大学学报(自然科学版), 26(2): 79 - 83]

Lawrence JF, 1982. Coleoptera. In: Parker SP ed. Synopsis and Classification of Living Organisms. Vol. 2. McGraw-Hill, New York. 482 - 553.

Li DJ, Masahiko T, Tadacazu N, 1999. Mechanism of mating action of *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). *Journal of Beijing Forestry University*, 21(4): 33 - 36. [李德家, 所雅彦, 中岛忠一, 1999. 光肩星天牛成虫交配行为机制研究. 北京林业大学学报, 21(4): 33 - 36]

Li J, Wang MQ, Zhang ZC, Chen JY, Zhang GA, 2008. Behavioral response of *Batocera horsfieldi* adults to plant volatiles. *Scientia Silvae Sinicae*, 44(6): 168 - 170. [李娟, 王满囷, 张志春, 陈京元, 张国安, 2008. 云斑天牛成虫对植物气味的行为反应. 林业科学, 44(6): 168 - 170]

Liang XY, Yang W, Yang YL, Yang CP, Yang Y, 2008. Preference of *Batocera horsfieldi* adults to feeding plants. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(1): 78 - 82. [梁潇予, 杨伟, 杨远亮, 杨春平, 杨毅, 2008. 云斑天牛对补充营养寄主的选择性. 昆虫知识, 45(1): 78 - 82]

Linsley EG, 1959. Ecology of Cerambycidae. *Annu. Rev. Entomol.*, 4: 99 - 138.

Liu HJ, 2007. Effects of Sublethal Concentration of Avermectin on *Frankliniella occidentalis* and Its Predatory Enemy *Amblyseius cucumeris*. PhD Dissertation, Anhui Agricultural University, Hefei. [刘慧娟, 2007. 阿维菌素亚致死浓度对西花蓟马及其天敌黄瓜钝绥螨的影响. 合肥: 安徽农业大学博士学位论文]

Simmons WL, 2001. Sperm Competition and Its Evolutionary Consequences in the Insects. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 144 - 186.

Stewart-Jones A, Hodges RJ, Farman DI, Hall D, 2006. Solvent extraction of cues in the dust and frass of *Prostephanus truncatus* and analysis of behavioural mechanisms leading to arrestment of the predator *Teretrius nigrescens*. *Physiological Entomology*, 31: 63 - 72.

Van Lochelm P, Buma M, Rousseau J, Noldus L, 1998. Automatic recognition of behavioral patterns of rats using video imaging and statistical classification. Poster presented at Measuring Behavior '98, 2nd International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research, 18 - 21 August 1998, Groningen, the Netherlands.

Wang Q, Chen LY, 2005. Mating behavior of a flower-visiting longhorn beetle *Zorion gutigerum* (Westwood) (Coleoptera: Cerambycidae: Cerambycinae). *Naturwissenschaften*, 92: 237 - 241.

Wen SY, 1991. Study on the mating behavior and the female recognition pheromone of China-fir borer. *Acta Phytophylacica Sinica*, 18(2): 167 - 172. [温硕洋, 1991. 粗鞘双条杉天牛交配行为生物学及雌性识别信息素研究. 植物保护学报, 18(2): 167 - 172]

Yan AJ, Ji BZ, Qian FJ, Chen JY, Ye ZY, 1997. A study on *Batocera horsfieldi* (Hope). *Journal of Nanjing Forestry University*, 21(1): 1 - 6. [严敖金, 嵇保中, 钱范俊, 陈京元, 叶中亚, 1997. 云斑天牛 *Batocera horsfieldi* (Hope)的研究. 南京林业大学学报, 21(1): 1 - 6]

Yang H, Wang JJ, Zhao ZM, Yang DM, Tang ZQ, 2007. Mating behavior of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomol. Sin.*, 50(8): 807 - 812. [杨洪, 王进军, 赵志模, 杨德敏, 唐志强, 2007. 松褐天牛的交配行为. 昆虫学报, 50(8): 807 - 812]

Yang H, Yang W, Yang MF, Yang CP, Yang LG, Xu TXK, 2010. Diurnal rhythm of *Viburnum awabuki* and *Betula luminifera* volatiles and electroantennogram response of *Batocera horsfieldi*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(2): 357 - 363. [杨桦, 杨伟, 杨茂发, 杨春平, 杨令国, 徐唐鑫科, 2010. 法国冬青和光皮桦挥发物日节律及云斑天牛的触角电位反应. 应用生态学报, 22(2): 357 - 363]

Yin XM, 1996. Study on the reproductive behavior of *Philus antennatus* (Gyllenhal). *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 30(4): 347 - 349. [尹新明, 1996. 狭胸天牛生殖行为的研究. 河南农业大学学报, 30(4): 347 - 349]

Zhang YH, Hao DJ, Wang Y, Dai HG, 2006. The mating and ovipositing behavior of *Monochamus alternatus*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(1): 47 - 49. [张永慧, 郝德君, 王焱, 戴华国, 2006. 松墨天牛成虫交配与产卵行为的观察. 昆虫知识, 43(1): 47 - 49]

(责任编辑: 袁德成)